

Исследование зависимости интенсивности вибрационной обработки от расположения вибровозбудителя / *А.П. Николаенко, М. А. Калмыков* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 2/5(38). – С. 54 – 57. **3. Погребещиков Ю.Б.** Выбор технологического оборудования для реализации многооперационных технологических процессов вибрационной обработки / *Ю. Б. Погребещиков, В.Б. Трунин, Ю.М. Самодумский, В.Г. Кравчик*// Вопросы вибрационной технологии. – 1999. – С. 11 – 19. **4.Сердюк Л.И.** Управляемые вибрационные машины с дебалансными вибровозбудителями колебаний / *Л.И. Сердюк*// Вибрации в технике и технологиях. – 1994. – №1. – С. 31 – 35. **5.Берник П.С.** Аналіз конструкцій вібраційних технологічних частотних машин для оздоблювально-зміцнювальної обробки деталей / *П.С. Берник, Л. В. Ярошенко, Р.М. Горбатюк* // Вибрации в техники и технологиях. – 2000. – №2(14). – С. 7 – 14. **6. Берник П.С.** Розвиток конструктивних та технологічних схем машин для обробки виробів в умовах вільного кінематичного зв'язку між деталями та робочим інструментом / *П.С. Берник, І. П. Паламарчук, І.С. Липовий* // Вібрації в техніці та технологіях. – 1998. - №2 (6). – С. 21 – 29.

Поступила в редколлегию 10.09.2013

УДК 621.08.45

Совершенствование конструкции вибрационных станков с U-образной формой контейнера / *Николаенко А. П.* // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХП», – 2013. - № 56 (1029). – С.15-21 . – Бібліогр.: 6 назв.

В роботі представлено математичне моделювання руху U-подібного контейнера вібраційного верстата, з метою знаходження оптимального положення вібровозбудника відносно контейнера та запропонована удосконалена конструкція верстата.

Ключові слова: вібраційна обробка, циркуляційний рух, вібраційний верстат, оптимальна конструкція, продуктивність.

The work presents the mathematical modeling of the motion of the vibrating machine U-shaped container, in order to find the optimum position of vibroexciter relatively to the container and an improved design of the machine.

Key words: vibrating treatment, circular motion, vibrating machine, optimal design, productivity.

УДК 621.314

В. С. ЄРЕМЕНКО, канд. техн. наук, доц., професор кафедри, НАУ, Київ

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ СТУПЕНЯ УШКОДЖЕНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В статті розглянуті питання руйнування композиційних матеріалів, запропонована методика визначення інтегрального параметру, який характеризує зміну фізико-механічних властивостей в дефектних зонах виробу – коефіцієнта пошкодження матеріала. Наведені результати експериментальних досліджень проведених на стільникових панелях з ударними пошкодженнями. Визначена залежність коефіцієнта пошкодження від енергії руйнуючого удару для даного типу матеріалів/

Ключові слова: композиційні матеріали, неруйнівний контроль, ступень пошкодження

Вступ. Виникнення дефектів в деталях з композиційних матеріалів значною мірою пов'язано з технологічними причинами в процесі виробництва та дією різноманітних впливаючих чинників при експлуатації. Дефектами, що зменшують міцність композиційного матеріалу є пори, мікротріщини, розшарування, дефекти з'єднання елементів, розриви волокон, зони нерівномірного затвердіння матриці і ін. Так, навіть мала частка порожнин за об'ємом матриці впливає на характеристики міцності.

Згідно з [1], кінетика руйнування волоконного композиційного матеріалу наступна: у момент розриву волокна напруга падає, але при подальшому

навантаженні матриця деформаційно зміцнюється і навантажує зруйновані волокна. Вся композиція руйнуватиметься тільки після того, коли вичерпається запас пластичності матриці. При подальшому збільшенні навантаження в матриці відбувається локальний наклеп і навантаження зростає настільки, що вона стає здатною навантажити нові відрізки волокон до їх руйнування в іншому перетині.

Якщо ж композиція складається з крихких волокон з великим розкидом міцності і малопластичної матриці (наприклад, боропластики, вуглепластики, склопластики), то використання при оцінці міцності композиційного матеріалу середньої міцності волокон приводить до великих похибок. Розрив волокна, що з'явився в одному перерізі, не приводить до руйнування всіх волокон в цьому ж перерізі, оскільки внутрішні дефекти у волокнах розподілені статистично. Після першого розриву в одному перерізі відбувається розрив іншого волокна в іншому перерізі. Ці розриви накопичуються по довжині зразка і при досягненні деякого критичного стану призводять до руйнування композиційного матеріалу в цілому.

Одна з найважливіших характеристик композиційного матеріалу – його опір розповсюдженню тріщин або в'язкість руйнування. В будь-якому матеріалі завжди є дефекти (пори, тріщини, та ін.), які під дією порівняно невеликих напруг можуть розростися і спровокувати катастрофічне руйнування всього матеріалу.

Не завжди міцний матеріал добре чинить опір розповсюдженню тріщин. При великій статичній міцності у нього може бути низька в'язкість руйнування, яка лімітується процесами розвитку тріщин. Один і той же матеріал при випробуванні тонких зразків може поводитися як пластичний і в'язкий, а при випробуваннях крупних зразків і деталей стає крихким. Це пов'язано із зміною напруженого стану у вершині тріщини, що розповсюджується, – переходом від плоского напруженого стану до плоского деформованого стану.

Проте, для армованих композиційних матеріалів характерні такі механізми руйнування, пов'язані з наявністю в композиційному матеріалі великого числа поверхонь розділу, які можуть загальмувати розповсюдження тріщин (відшарування волокна від матриці, розрив і прослизання волокон, витягування волокон з матриці і пластична деформація матриці). В умовах циклічних навантажень композиційні матеріали мають високу стійкість, при цьому їх втомленість відмінна від втомленості металів за множинністю типів руйнування, чутливістю до надрізів і поведінки при стисненні. При рівній масі однонаправлені композиційні матеріали (скло– і вуглепластики) мають втомну міцність в 2–3 рази вище в порівнянні з конструкційними металами.

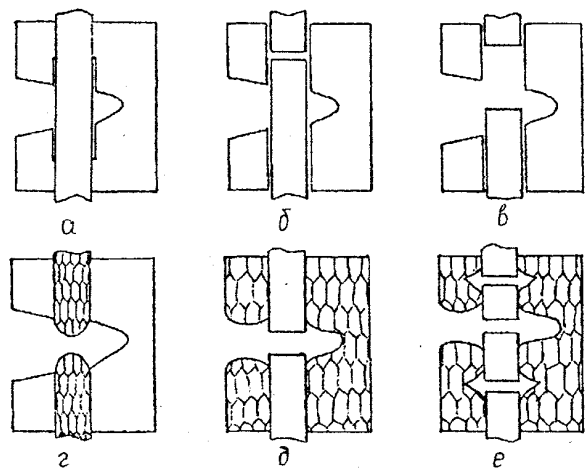


Рис. 1 - Механізми руйнування композиційного матеріалу: а – відшарування волокна від матриці; б – розрив волокна і прослизання; в – витягування волокна; г – пластична деформація і розрив волокна; д – крихке руйнування волокна і пластична плинність; е – множинне крихке руйнування і пластична деформація матриці поблизу кожного розриву

Найпоширеніші типи руйнування композиційних матеріалів залежать як від числа циклів навантаження N , так і від амплітуди напруг (рис. 1).

Такі типи руйнувань викликають поступове зниження жорсткості в процесі втомленості внаслідок дисперсії пошкоджень в об'ємі. Поступове зниження жорсткості забезпечує живучість конструкції і дозволяє легко знаходити пошкодження на безпечному етапі (до допустимої зміни жорсткості).

Основний зміст роботи. Як вже зазначалось, композиційні матеріали мають широкий спектр можливих типів дефектів, крім цього при різних навантаженнях одні ті самі дефекти можуть поводити себе по-різному. Тому пропонується розглядати можливість виявлення засобами неруйнівного контролю не окремих типів дефектів та їх розмірів, а можливість визначення інтегрального параметра - коефіцієнта ушкодження матеріалу $D(\xi)$ [2].

Механічна напруга змінюється за законом Гука

$$\sigma = E_0 \xi, \quad (1)$$

де E_0 – модуль Юнга, константа, ξ – деформація.

Припускається, що початково крихке тіло буде мати лінійну пружність у межах $0 < \sigma < \sigma_y$, где σ_y – границя пластичності. Із попередньої формули видно, що деформація при границі пластичності становить

$$\xi_y = \frac{\sigma_y}{E_0}. \quad (2)$$

У разі нескінченно довгого зростання напруги припускається, що тверде тіло руйнуватиметься при навантаженні σ_y . Якщо тверде тіло підлягає миттєвому постійному навантаженню $\sigma_0 > \sigma_y$, як показано на рис. 2. – крива ABI , пошкодження відбуватиметься вздовж осі тиску IJ до повного руйнування.

В іншому випадку пружне тверде тіло може бути розтягнуто дуже швидко з постійною деформацією $\xi_0 > \xi_y$, прикладеною миттєво. В цьому випадку пошкодження буде розповсюджуватись уздовж осі деформації IH , до тих пір, поки напруга не наблизиться до границі пластичності σ_y . Коли тиск на крихке тіло досягне постійного кінцевого значення, припускаємо, що лінійна пружність (1.1) має місце в межах $0 < \sigma < \sigma_y$.

Діаграма зображена при припущенні, що тверде тіло поводитьсь також, як і пластичні матеріали при деформаціях менше границі пружності σ_y (AB). Якщо навантаження на об'єкт нарастає нескінченно повільно, матиме місце руйнування тіла при навантаженні σ_y (BG).

Якщо навантаження прикладене швидко до σ_0 і є постійним, пошкодження буде відбуватися уздовж лінії $ABIJ$. Якщо деформація збільшується дуже швидко до ξ_0 , пошкодження стане слабшим, напруга зменшиться до границі пружності вздовж лінії $ABIH$. Пошкодження в проміжному стані збільшення напруги з постійною інтенсивністю відбувається вздовж кривої ABE .

При навантаженнях вищих, ніж границя пружності $\sigma > \sigma_y$ руйнування спостерігається у вигляді мікротріщин. Такий тип пошкодження приводить до

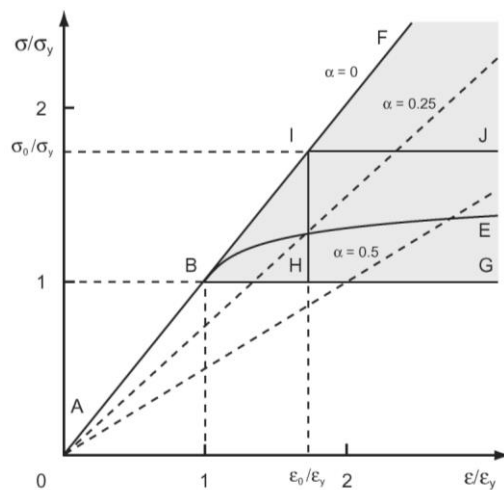


Рис. 2 - Ідеалізована діаграма тиску-деформації для крихкого твердого тіла

прискорення деформації і до відхилення від лінійної еластичності. Типова крива ABE для такого роду дефектів.

Для визначення відхилення від лінійної еластичності у відношення тиск/деформація буде введено коефіцієнт пошкодження D

$$\sigma = E_0(1 - D)\xi. \quad (3)$$

Якщо $D=0$, формула (1.3) вироджується у (1.1) і має місце лінійна пружність; якщо ж $D \rightarrow 1$ ($\xi \rightarrow \infty$), виникає пошкодження.

Поводження стрижневої конструкції під напругою проілюстровано схематично на рис. 3. Відхилення від лінійної пружності і існування пошкодження показано схематично. Напруга в стрижневій конструкції дана, як функція деформації. На ділянці I, де спостерігається лінійна пружність має місце рівняння (1.1), причому E_0 модуль Юнга непошкодженого матеріалу є константою. На ділянці II, де присутнє відхилення від лінійної пружності існує очікувана небезпека появи мікротріщин. Ці дефекти зменшують міцність матеріалу, виникає необоротна деформація конструкції. Для вищеприписаної напруги σ , деформація більше, ніж значення яке задавалося у формулі (1.1). Відповідно отримуємо

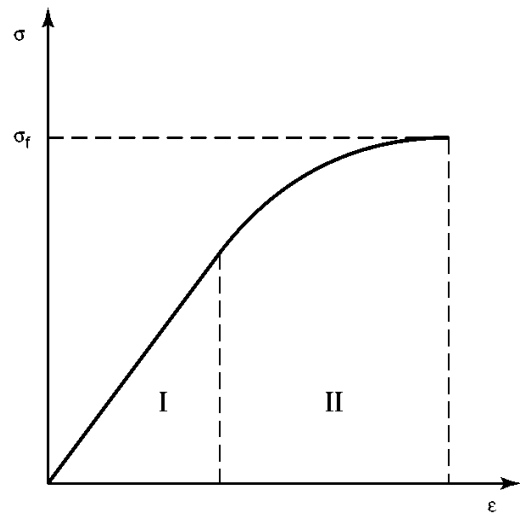


Рис. 3 – Схематична ілюстрація пошкодження пластичної стрижневої конструкції

$$\sigma = E_{ef}\xi, \quad (4)$$

де E_{ef} - ефективний модуль Юнга, який не є константою.

Неперервний підхід до цього процесу дозволяє застосувати коефіцієнт пошкодження:

$$E_{ef} = E_0(1 - D). \quad (5)$$

Коефіцієнт пошкодження кількісно визначає відхилення від лінійної пружності і розподіл мікротріщин у стрижневій конструкції.

Експериментальні дослідження. Експериментальні дослідження проводились на зразках композиційних матеріалів зі стільниковим заповненням ПСП-1 та обшивкою на основі склотканини Т42/1-76 фізико-механічні характеристики яких відповідають реальним конструкціям.

Для моделювання різного ступеня пошкодження на зразки стільникових панелей були нанесені точкові удари з нормованою енергією 2.24; 2.8; 3.4 та 5.1 кДж. Дефекти даного типу найбільш часто зустрічаються при експлуатації виробів із композитів.

Для опису залежності напруга/деформація було застосовано наступну залежність, що описується кривими Вейбула [3]:

$$\sigma = E\xi \exp\left(-\left(\frac{\xi}{\xi_0}\right)\right).$$

Тоді коефіцієнт пошкодження в залежності від деформації можна записати, як:

$$D(\xi) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{\xi}{\xi_0}\right)^m\right),$$

де m – характеристика жорсткості матеріалу; ξ_0 – максимальна деформація; ξ – значення деформації, якої зазнав виріб у зоні контролю.

В цьому рівнянні $D(\xi)=0$ відповідає неушкодженій ділянці поверхні контрольованого виробу, а $D(\xi)=1$ – повністю зруйнованій ділянці.

На стільникових панелях в зонах ударного пошкодження були виміряні відносні значення амплітуди сили ударної взаємодії за допомогою системи акустичного контролю, що реалізує метод низькошвидкісного удару [4]. Ці значення наведені у табл.

Таблиця – Відносні значення сили ударної взаємодії

Енергія пошкоджуючого удару, кДж	Відносна амплітуда сили ударної взаємодії
0	1
2.24	0.62
2.8	0.45
3.4	0.31
5.1	0.19

Відомо, що амплітуда сили ударної взаємодії матеріалу та бійка п'єзоперетворювача описується рівнянням [5]:

$$F_M = 1.28 \cdot M^{\frac{3}{5}} \cdot V^{\frac{6}{5}} \cdot \left(\frac{1-\mu^2}{E}\right)^{\frac{2}{5}} \cdot r^{\frac{1}{5}},$$

де параметри бійки: M – маса; V – швидкість; μ – коефіцієнт Пуассона; r – радіус.

Шляхом відповідних перетворень можна встановити, що:

$$\frac{F'_M}{F_M} = \left(\frac{E}{E_{ef}}\right)^{\frac{2}{5}}, \text{ або } \frac{E'}{E} = \left(\frac{F'_M}{F_M}\right)^{\frac{5}{2}},$$

де F'_M – амплітуда сили ударної взаємодії у пошкодженій зоні об'єкту контролю, а F_M відповідає силі взаємодії в неушкодженій зоні.

Тоді коефіцієнт пошкодження матеріалу

можна визначити як: $D(\xi) = 1 - \frac{E'}{E} = 1 - \left(\frac{F'_M}{F_M}\right)^{\frac{5}{2}}$.

Таким чином, для зразків стільникових склопластиків було розраховано залежність коефіцієнтів пошкодження від енергії ударів, нанесених на зразки рис. 4.

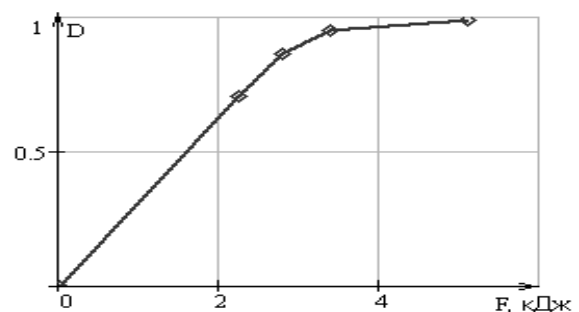


Рис. 4 - Залежність ступеня пошкодження стільникових панелей ПСП-1 від енергії пошкоджуючого удару

Висновки. Представлений метод дозволяє оцінити ступінь зміни фізико механічних властивостей композиційних матеріалів за допомогою коефіцієнта пошкодження, який кількісно визначає відхилення від лінійної пружності та розподіл мікротріщин у композитній конструкції. Проведені експериментальні

дослідження на прикладі ударних пошкоджень стільникової панелі показали можливість використання запропонованого методу для інтерпретації результатів неруйнівного контролю композитів.

Список літератури: 1. Фудзии, Т. Механика разрушения композиционных материалов / Т. Фудзии, М. Дзако; пер.с япон. – М.: Мир, 1982. – 232 с. 2. *Krajcinovic, D.* Statistical aspects of the continuous damage theory / *D. Krajcinovic, M. D. Silva* // *Int. J. Solids Struct.* – 1982. – №18. – P. 551-562. 3. *Hudson, J. A.* Tensile strength, Weibulls theory and a general statistical approach to rock failure / *J. A. Hudson, C. Fairhurst* // *The Proceedings of the Civil Engineering: Materials Conference (Part 2)*, Teeni, M., 1969. – Southampton, 1969. – pp. 901-904. 4. Еременко, В. С. Обнаружение ударных повреждений сотовых панелей методом низкоскоростного удара / В. С. Еременко, В. М. Мокийчук, А. М. Овсянкин // *Техническая диагностика и неразрушающий контроль.* – 2007. – №1. – С. 24 – 27. 5. *Cawley, P.* The mechanics of the coin-tap method of non-destructive testing / *Cawley P., Adams R. D.* // *Jourural of sound and vibration.* – № 2 (122). – 1988. P. 299 – 313.

УДК 621.314

Метод оцінювання ступеня ушкодженості композиційних матеріалів / Єременко В. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х: НТУ «ХПІ», – 2013. - № 56 (1029). – С.21-26. – Бібліогр.: 5 назв.

В статье рассмотрены вопросы разрушения композиционных материалов, предложена методика определения интегрального параметра, характеризующего изменение физико-механических свойств в дефектных зонах изделия – коэффициента поврежденности материала. Представлены результаты экспериментальных исследований проведенных на сотовых панелях с ударными повреждениями.

Ключевые слова: композиционные материалы, неразрушающий контроль, степень поврежденности.

This paper overview problem of fracture of composite materials and presents technique of estimation the integral parameter called the coefficient of material damage which characterizes changes of physic-mechanical properties in defective zones of composite material. Experimental results obtained in studies of honeycomb sandwich panels with impact damages.

Keywords: composite materials, non-destructive testing, the degree of damage.

УДК 669.1.002.5:621.78

В. Г. ЛЯСОВ, директор прокатного департамента, ПАО «Арселор Миттал Стил Кривой Рог»;

А. В. МАМАЕВ, менеджер, ПАО «Арселор Миттал Стил Кривой Рог»;

И. А. ГУНЬКИН, инженер-технолог, ПАО «Арселор Миттал Стил Кривой Рог»;

С. О. МАЦЫШИН, аспирант, Металлургический институт ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЛИНИИ УСКОРЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОСОРТНОГО СТАНА 250-4 ПАО «АМКР»

В статье рассмотрено предложение по реконструкции линии ускоренного охлаждения для обеспечения гибкого управления процессом термомеханического упрочнения арматурного проката.

Ключевые слова: реконструкция, линия ускоренного охлаждения, гибкое управление, термомеханическое упрочнение, арматурный прокат.

Введение. На сегодняшний день повышение качества продукции является одной из основных задач металлургического производства, последовательное